

## **Wabendichtung**

Die Erfindung betrifft eine Wabendichtung gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1. Weiterhin betrifft die Erfindung eine Wabendichtung gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 6.

Die hier vorliegende Erfindung bezieht sich auf eine Wabendichtung, die vorzugsweise als Abdichtung zwischen einem feststehenden Bauteil und einem bewegten Bauteil, insbesondere zwischen Rotor und Stator einer Gasturbine, zum Einsatz kommt.

Gasturbinen, die zum Beispiel in Flugzeugen als Triebwerke verwendet werden, umfassen in der Regel mehrere feststehende Leitschaufeln sowie mehrere rotierende Laufschaufeln. Die Leitschaufeln und die Laufschaufeln sind von einem feststehenden Gehäuse umgeben. Die rotierenden Laufschaufeln rotieren relativ zum feststehenden Gehäuse, wobei zwischen Schaufelspitzen der rotierenden Laufschaufeln und dem Gehäuse ein radialer Spalt ausgebildet ist. Einen vergleichbaren Spalt gibt es auch zwischen den radial inneren Enden der Leitschaufeln und den die Laufschaufeln tragenden Rotor. Zur Optimierung des Wirkungsgrads der Gasturbine soll dieser radiale Spalt möglichst gering ausfallen. Daraus folgt, dass der radiale Spalt zwar einerseits erforderlich ist, um die Drehbarkeit der Laufschaufeln gegenüber dem Gehäuse zu gewährleisten, dass andererseits aber der radiale Spalt aus Wirkungsgradgründen von Nachteil ist.

Bei Gasturbinen kommen daher Wabendichtungen zum Einsatz, die einerseits den radialen Spalt zwischen den rotierenden Laufschaufeln und dem feststehenden Gehäuse abdichten, und die andererseits eine Drehbarkeit der Laufschaufeln gegenüber dem Gehäuse ermöglichen, ohne dass die Schaufelspitzen der Laufschaufeln bei der Rotation beschädigt werden. In gleicher Weise werden diese im Spalt zwischen Leitschaufeln und Rotor eingesetzt. Laufschaufeln können direkt mit ihren Schaufelspitzen oder mit sog. Dichtfins auf ihren Schaufeldeckbändern gegen solche Wabendichtungen laufen.

Wabendichtungen nach dem Stand der Technik bestehen aus einem Grundkörper und Wabenelementen, wobei die Wabenelemente und der Grundkörper getrennte Bauteile sind, die durch Hochtemperaturlöten im Vakuum miteinander verbunden werden. Die Wabenelemente werden auf Maß geschliffen und anschließend entgratet. Die Form und Größe der Wabenelemente ist meist gleich. Die Gestaltungsfreiheit der Wabendichtung ist beschränkt.

Hier von ausgehend liegt der vorliegenden Erfindung das Problem zu Grunde, eine neuartige Wabendichtung zu schaffen, bei der eine größere Gestaltungsfreiheit möglich ist, und die fertigungstechnisch einfacher herzustellen ist.

Dieses Problem wird dadurch gelöst, dass die Eingangs genannte Wabendichtung durch die Merkmale des kennzeichnenden Teils des Patentanspruchs 1 und 6 weitergebildet ist.

Erfindungsgemäß ist die Wabendichtung durch pulvermetallurgisches Spritzgießen hergestellt. Das pulvermetallurgische Spritzgießen wird auch als Metal Injection Molding (MIM) bezeichnet. Durch die hier vorliegende Erfindung wird erstmals vorgeschlagen, eine Wabendichtung durch pulvermetallurgisches Spritzgießen herzustellen. Hierdurch ergibt sich eine größere Gestaltungsfreiheit für die Wabendichtung. Weiterhin sind die Fertigungskosten geringer. Das Schleifen und Entgraten als Bearbeitungsschritte entfallen. Weiterhin ergibt sich eine Gewichtsreduzierung für die erfindungsgemäße Wabendichtung.

Nach einem anderen Aspekt der hier vorliegenden Erfindung verfügt die Wabendichtung über ein Bodenelement und einstückig mit dem Bodenelement ausgebildete Wabenelemente. Vorzugsweise ist die Wabendichtung aus mehreren Segmenten mit Wabenelementen zusammengesetzt, wobei jedes Segment über ein Bodenelement und einstückig mit dem Bodenelement ausgebildete Wabenelemente verfügt. Hierdurch ist es möglich, die Wabendichtung abschnittsweise mit unterschiedlichen Eigenschaften - zum Beispiel mit unterschiedlichen Geometrien oder Materialeigenschaften - zu versehen, um so die Wabendichtung abschnittsweise oder segmentweise an die erwünschte Eigenschaften anzupassen.

Die Wabenelemente und die Bodenelemente können aus verschiedenen Werkstoffen bestehen, wobei die Wabenelemente z.B. gut abreibbar sein sollen und die Bodenelemente eine hohe Temperaturfestigkeit aufweisen sollen.

Bevorzugte Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den abhängigen Unteransprüchen und der nachfolgenden Beschreibung.

Ausführungsbeispiele der Erfindung werden, ohne hierauf beschränkt zu sein, an Hand der Zeichnung näher erläutert. In der Zeichnung zeigt:

Fig. 1: eine erfindungsgemäße Wabendichtung nach einem ersten Ausführungsbeispiel der Erfindung in schematisierter, perspektivischer Seitenansicht,

Fig. 2: eine erfindungsgemäße Wabendichtung nach einem zweiten Ausführungsbeispiel der Erfindung in schematisierter, perspektivischer Seitenansicht, und

Fig. 3: eine erfindungsgemäße Wabendichtung nach einem dritten Ausführungsbeispiel der Erfindung in schematisierter, perspektivischer Seitenansicht.

Die Figuren 1 bis 3 zeigen erfindungsgemäße Wabendichtungen in unterschiedlichen Ausführungsformen. Die dort gezeigten Wabendichtungen dienen vorzugsweise der Abdichtung eines Spalts zwischen rotierenden Laufschaufeln und einem feststehenden Gehäuse einer Gasturbine. Alternativ dienen die Wabendichtungen der Abdichtung zwischen Leitschaufeln und Rotor einer Gasturbine. So übernehmen derartige Wabendichtungen bei Gasturbinen, die zum Beispiel als Flugtriebwerke verwendet werden, unter anderem die Aufgabe der Abdichtung eines radialen Spalts zwischen Schaufelspitzen bzw. Dichtfins auf Deckbändern der rotierenden Laufschaufeln und dem feststehenden Gehäuse. Zur Erzielung eines optimierten Wirkungsgrads der Gasturbine soll der Spalt zwischen den Schaufelspitzen bzw. Dichtfins auf Deckbändern der Laufschaufeln und dem Gehäuse möglichst gering ausgebildet sein. Damit die Schaufelspitzen der Laufschaufeln bei der

Rotation derselben jedoch nicht beschädigt werden, muss die Wabendichtung nicht nur den radialen Spalt abdichten, sondern auch die Schaufelspitzen bzw. Dichtfins vor Beschädigungen schützen.

Fig. 1 zeigt eine Wabendichtung 10 nach einem ersten Ausführungsbeispiel der Erfindung. Die dort gezeigte Wabendichtung 10 ist auf ein Tragelement 11 aufgeschoben. Die Wabendichtung 10 verfügt über ein Bodenelement 12, wobei das Bodenelement 12 Wabenelemente 13 trägt. Das Bodenelement 12 und die Wabenelemente 13 sind einstückig ausgebildet. Erfindungsgemäß ist die Wabendichtung 10 durch pulvermetallurgisches Spritzgießen hergestellt. Pulvermetallurgisches Spritzgießen wird auch als Metal Injection Molding bezeichnet. Details dieses Fertigungsverfahrens sind aus der einschlägigen Literatur bekannt.

An dieser Stelle soll bezüglich des pulvermetallurgischen Spritzgießens angemerkt werden, dass sich mithilfe dieses Herstellungsprozesses hergestellte Produkte durch geometrische Gestaltungsfreiheit auszeichnen. Bei dem pulvermetallurgischen Spritzgießen wird ein Metallpulver mit einem Bindemittel zu einer homogenen Masse vermischt. Der Volumenanteil des Metallpulvers beträgt dabei vorzugsweise mehr als 50%. Diese homogene Masse aus Bindemittel und Metallpulver wird durch Spritzgießen verarbeitet. Hierbei werden Formkörper gefertigt. Bei der hier vorliegenden Erfindung entsprechen die Formkörper der erfindungsgemäßen Wabendichtung. Diese Formkörper weisen schon alle typischen Merkmale der gewünschten Wabendichtung auf. Sie verfügen jedoch über ein um den Bindemittelgehalt vergrößertes Volumen. Darauffolgend werden die Formteile einem Entbindungsprozess unterzogen. Abhängig vom eingesetzten Bindemittel wird dieses entweder thermisch zersetzt, verdampft oder durch ein Lösungsmittel extrahiert. Die zurückbleibenden, porösen Formkörper werden dann durch Sintern unter verschiedenen Schutzgasen oder unter Vakuum zu den Bauteilen mit den endgültigen, geometrischen Eigenschaften verdichtet. Im Anschluss liegt das fertige Bauteil vor.

Es liegt demnach im Sinne der hier vorliegenden Erfindung, die Wabendichtung 10, die aus einem Bodenelement 12 und aus einstückig mit dem Bodenelement 12 verbundenen Wabenelementen 13 besteht, durch pulvermetallurgisches Spritzgießen herzustellen.

Das Bodenelement 12 der Wabendichtung 10 der Fig. 1 verfügt über seitliche Führungsabschnitte 14, über welche die Wabendichtung 10 auf das Tragelement 11 aufgeschoben werden kann. Die Kontur der Führungselemente 14 ist demnach an die Kontur des Tragelements 11 angepasst, auf welche die Wabendichtung 10 aufgeschoben werden soll.

Fig. 2 zeigt eine zweite erfindungsgemäße Wabendichtung 15 im Sinne der Erfindung. Auch die Wabendichtung 15 der Fig. 2 verfügt über ein Bodenelement 16 und einstückig mit dem Bodenelement 16 verbundene Wabenelemente 17. Im Bereich des Bodenelements 16 ist wiederum ein Führungselement 18 vorhanden, über welches die Wabendichtung 15 in ein Tragelement 19 eingeschoben werden kann. Auch die Wabendichtung 15 des Ausführungsbeispiels der Fig. 2 ist durch pulvermetallurgisches Spritzgießen hergestellt.

Bereits an dieser Stelle soll darauf hingewiesen werden, dass die Wabendichtungen 10 bzw. 15 der Ausführungsbeispiele gemäß Fig. 1 und 2 vorzugsweise aus mehreren Segmenten zusammengesetzt sind. So können mehrere Segmente im Sinne der Ausführungsbeispiele der Fig. 1 und 2 auf das entsprechende Tragelement aufgeschoben werden. Alle Segmente verfügen dann wiederum über ein Bodenelement 12 bzw. 16 und über einstückig mit dem Bodenelement ausgebildete Wabenelemente 13 bzw. 17. Wie Fig. 3 zeigt, weisen die Segmente zur Umfangsabdichtung Schlitze 30 und am gegenüberliegenden Segmentende nicht dargestellte Zungen auf, die in die Schlitze 30 der jeweils benachbarten Segmente eingreifen. Die Schlitze 30 und die Zungen werden während des MIM-Prozesses als integrale Elemente gefertigt.

Fig. 3 zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Wabendichtung 20. Auch die dort gezeigte Wabendichtung 20 verfügt über ein Bodenelement 21 sowie einstückig mit dem Bodenelement 21 ausgebildete Wabenelemente 22. Fig. 3 kann entnommen werden, dass die Wabenelemente 22 über unterschiedliche geometrische Formen verfügen, wodurch insbesondere in Axialrichtung unterschiedliche Bereiche möglich sind.

Ränder des Bodenelements 21 dienen als Führungselemente, um die Wabendichtung 20 in ein Tragelement 23 einzuschieben. Im gezeigten Ausführungsbeispiel der Fig. 3 bilden die

Randbereiche des Bodenelements 21 demnach keilförmige Führungselemente 24, die in entsprechende Ausnehmungen im Tragelement 23 eingreifen bzw. in dieselben eingeschoben werden.

Auch die Wabendichtung 20 des Ausführungsbeispiels der Fig. 3 ist vorzugsweise aus mehreren Segmenten zusammengesetzt. Wie Fig. 3 weiterhin zeigt, verfügt das in Fig. 3 gezeigte Segment der Wabendichtung 20 an einem Ende über eine Ausnehmung 25 und an einem gegenüberliegenden Ende über einen Vorsprung 26. Werden mehrere Segmente im Sinne der Fig. 3 in dem Tragelement 23 positioniert, so werden die Segmente miteinander verzahnt zur Vermeidung axialer Relativverschiebungen. Hierbei greift dann ein Vorsprung 26 eines Segments der Wabendichtung 20 in eine korrespondierende Ausnehmung 25 eines benachbarten Segments ein. Auch die Segmente der Wabendichtung des Ausführungsbeispiels der Fig. 3 sind durch pulvermetallurgisches Spritzgießen hergestellt.

Die erfindungsgemäßen Wabendichtungen 10, 15 und 20 der Ausführungsbeispiele gemäß Fig. 1 bis 3 verfügen über eine große Gestaltungsfreiheit. So sind mithilfe des pulvermetallurgischen Spritzgießens Wabendichtungen herstellbar, deren Wabenelemente hinsichtlich ihrer geometrischen Ausgestaltung individuell angepasst werden können. Durch den Einsatz des pulvermetallurgischen Spritzgießens für die Herstellung der erfindungsgemäßen Wabendichtung wird der Fertigungsaufwand reduziert. Das nach dem Stand der Technik erforderliche Schleifen sowie Entgraten der Wabendichtung entfällt. Weiterhin zeichnen sich die Wabendichtungen im Sinne der Erfindung durch ein geringeres Gewicht aus. Dies ist insbesondere bei Flugzeugtriebwerken vorteilhaft. Die erfindungsgemäße Wabendichtung lässt sich insgesamt günstiger herstellen. Auch ist eine höhere Fertigungstiefe und damit Wertschöpfung möglich.

Ferner ist es möglich, dass die Wabendichtungen 10, 15 und 20 aus einem anderen Material hergestellt sind wie die Tragelemente 11, 19 oder 23. So können die Tragelemente zum Beispiel aus Keramik hergestellt werden. Bei den Tragelementen 11, 19 bzw. 23 handelt es sich um Bauteile, die bei Flugzeugtriebwerken in das Gehäuse desselben eingebracht werden. Die Wabendichtungen 10, 15, 20 bzw. Segmente derselben können dann auf einfache Art und Weise in die im Gehäuse des Triebwerks befestigen Tragelemente 11, 19 bzw. 23 eingeschoben werden.

Die Wabendichtungen 10, 15 und 20 können auch einstückig mit den Tragelementen 11, 19 oder 23 in MIM-Technik, d.h. durch pulvermetallurgisches Spritzgießen, hergestellt werden, wobei dieses Integralteil dann direkt im Gehäuse angeordnet wird.

Aufgrund der geringen Kosten und der einfachen Fertigung können die Wabendichtungen 10, 15 und 20 als Einwegteile eingesetzt werden.

Die Präzision des MIM-Verfahrens zur Fertigung der Wabendichtung ist derart hoch, dass selbst feinste Strukturen, wie die Wabenelemente 13, 17, 22, die mit dem Schlitz 30 zusammenwirkende Zunge oder auch Teilenummern, ausgebildet werden können.

## Patentansprüche

1. Wabendichtung, insbesondere zur Abdichtung eines radialen Spalts zwischen Rotor und Stator einer Gasturbine, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Wabendichtung durch pulvermetallurgisches Spritzgießen hergestellt ist.
2. Wabendichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** dieselbe aus mehreren Segmenten zusammengesetzt ist, wobei die Segmente einstückig ausgebildet sind und über ein Bodenelement (12, 16, 21) sowie Wabenelemente (13, 17, 22) verfügen, und wobei das Bodenelement (12, 16, 21) die Wabenelemente (13, 17, 22) trägt.
3. Wabendichtung nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Segmente durch pulvermetallurgisches Spritzgießen hergestellt sind.
4. Wabendichtung nach Anspruch 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Segmente der Wabendichtung (10, 15, 20) mit einem Tragelement (11, 19, 23) verbindbar sind, wobei die Segmente und das Tragelement (11, 19, 23) vorzugsweise aus unterschiedlichen Werkstoffen hergestellt sind.
5. Wabendichtung nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Bodenelemente (12, 16, 21) der Segmente mindestens einen Führungsabschnitt (14, 18, 24) aufweisen, wobei die Segmente über den oder jeden Führungsabschnitt (14, 18, 24) mit einem Tragelement (11, 19, 23) verbindbar sind, und wobei die Segmente derart miteinander verzahnt sind, das ein Segment mit einem Vorsprung in eine entsprechende Ausnehmung eines benachbarten Segments eingreift.
6. Wabendichtung, insbesondere zur Abdichtung eines radialen Spalts zwischen Rotor und Stator einer Gasturbine, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Wabendichtung

über ein Bodenelement (12, 16, 21) und einstückig mit dem Bodenelement (12, 16, 21) ausgebildete Wabenelemente (13, 17, 22) verfügt.

7. Wabendichtung nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Wabendichtung aus mehreren Segmenten zusammengesetzt ist, wobei jedes Segment über ein Bodenelement (12, 16, 21) und einstückig mit dem Bodenelement (12, 16, 21) ausgebildete Wabenelemente (13, 17, 22) verfügt.
8. Wabendichtung nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Bodenelement (12, 16, 21) des oder jeden Segments mindestens einen Führungsabschnitt (14, 18, 24) aufweist, wobei das oder jedes Segment über den oder jeden Führungsabschnitt (14, 18, 24) mit einem Tragelement (11, 19, 23) verbindbar ist.
9. Wabendichtung nach Ansprüche 7 oder 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** Enden der Segmente Vorsprünge (26) und/oder Aussparungen (25) aufweisen, derart, dass ein Segment mit einem Vorsprung (26) in eine entsprechende Ausnehmung (25) eines benachbarten Segments eingreift.
10. Wabendichtung nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Segmente der Wabendichtung und das Tragelement aus unterschiedlichen Werkstoffen hergestellt sind.
11. Wabendichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 6 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Segmente der Wabendichtung (10, 15, 20) durch pulvermetallurgisches Spritzgießen hergestellt sind.
12. Wabendichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 4 oder 5 und 8 bis 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Wabendichtung (10, 15, 20) und das Tragelement (11, 19, 23) einstückig gefertigt sind.

13. Wabendichtung nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet, dass** der abzudichtende Spalt zwischen rotierenden Laufschaufeln des Rotors und einem Gehäuse als Stator oder nicht rotierenden Leitschaufeln des Stators und dem Rotor liegt.
14. Wabendichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 2 bis 5 und 7 bis 13,  
**dadurch gekennzeichnet, dass** das Wabenelement (13, 17, 22) und das Bodenelement (12, 16, 21) aus verschiedenen Werkstoffen bestehen.

### **Zusammenfassung**

Die Erfindung betrifft eine Wabendichtung (10), die durch pulvermetallurgisches Spritzgießen hergestellt ist. Die Wabendichtung (10) ist vorzugsweise aus mehreren Segmenten zusammengesetzt. Jedes Segment ist einstückig ausgebildet und verfügt über ein Bodenelement (12) sowie einstückig mit dem Bodenelement (12) ausgebildete Wabenelemente (13).

(Fig. 1)